

Ф. Е. Максимов¹, В. В. Шарин², В. Ю. Кузнецов¹, А. С. Окунев², В. А. Григорьев¹,
А. Ю. Петров¹

УРАН-ТОРИЕВОЕ ДАТИРОВАНИЕ ВЫСОКИХ МОРСКИХ ТЕРРАС АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² Полярная морская геологоразведочная экспедиция, Российская Федерация, 198412, Санкт-Петербург, Ломоносов, ул. Победы, 24

В статье приведены результаты $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования раковин моллюсков, приуроченных к высоким морским террасам архипелага Шпицберген. Новые возрастные данные рассмотрены с позиции факторов, позволяющих контролировать соблюдение основных положений уран-ториевого метода. Они сопоставлены с датировками, ранее полученными другими методами геохронометрии. Морские террасы исследованных районов архипелага Шпицберген с высотой 70–100 м образовались по данным $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования в поздненеоплейстоценовое время. На основании этого уточнены и дополнены палеогеографические реконструкции береговых линий архипелага Шпицберген. Библиогр. 16 назв. Ил. 1. Табл. 2.

Ключевые слова: $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -метод датирования, высокие морские террасы, палеогеографические реконструкции, архипелаг Шпицберген.

F. E. Maksimov¹, V. V. Sharin², V. Yu. Kuznetsov¹, A. S. Okunev², V. A. Grigoriev¹, A. Yu. Petrov¹

URANIUM-THORIUM DATING OF HIGH SEA TERRACES OF THE SPITSBERGEN ARCHIPELAGO

¹ Saint-Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² Polar Marine Geological Expedition, 24, st. Pobedy, Lomonosov, St. Petersburg, 198412, Russian Federation

The $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating results of the four mollusk shells located on the high sea terraces of the Spitsbergen Archipelago from 70 to 100 m heights were obtained. New age data were analyzed applying factors/indicators which allow monitoring of the main theoretical positions of the uranium-thorium method. The $^{230}\text{Th}/\text{U}$ ages determined were compared with dates obtained earlier by other geochronometric methods. The high sea terraces of the Spitsbergen Archipelago from 70 to 100 m heights were formed during the Late Neopleistocene. Based on the ages obtained the palaeogeographic reconstructions of the Spitsbergen Archipelago coastlines have been refined and expanded. Refs 16. Fig 1. Tables 2.

Keywords: $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating method, high sea terraces, palaeogeographic reconstructions, the Spitsbergen Archipelago.

Введение

Четвертичная история архипелага Шпицберген вызывает особый интерес, поскольку реконструкция ландшафтно-климатических вариаций в течение этого, достаточно близкого к настоящему времени геологического периода создает базу для оценки современных и будущих изменений условий природной среды полярного региона.

Одной из актуальных задач четвертичной геологии архипелага является выявление древних морских террас и установление их возраста, что позволяет рекон-

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 13-05-00854-а и № 14-05-31448-мол_а.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2016

струировать положение береговых линий в прошлом. Абсолютные отметки морских террас зависят от соотношения между эвстатическими колебаниями уровня океана, вертикальными тектоническими и гляциоизостатическими движениями земной коры. Поэтому изучение комплексов морских террас, в том числе установление их хронологии, имеет важное значение для реконструкции последних этапов вертикальных движений земной коры, в том числе на архипелаге Шпицберген.

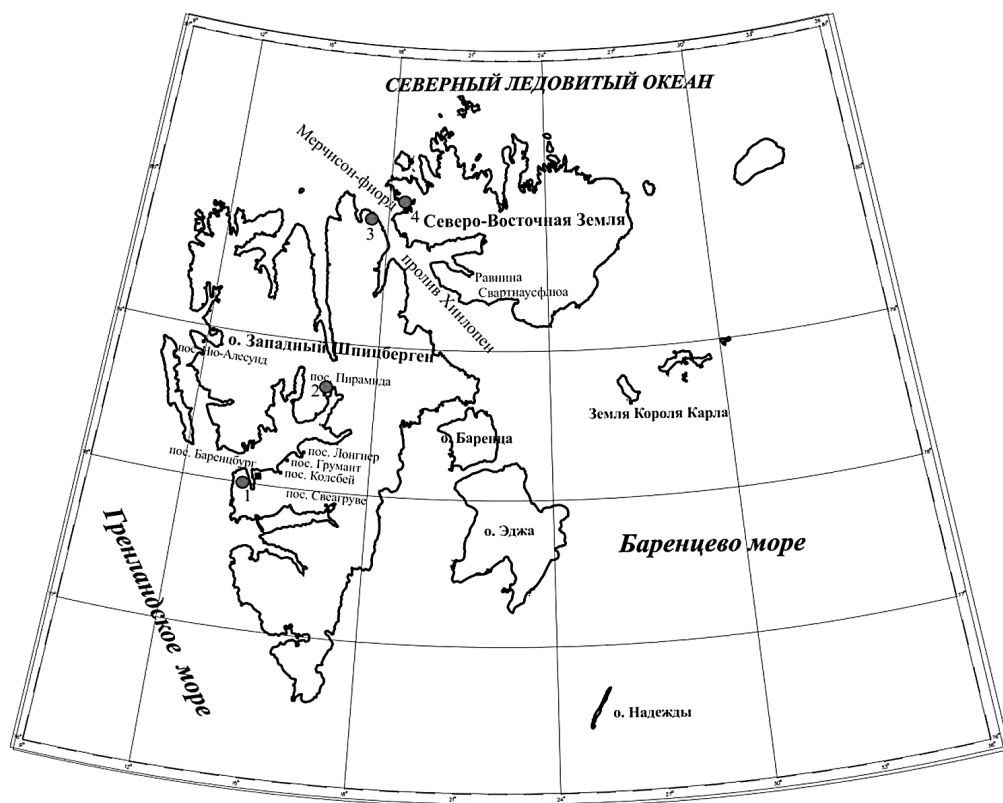
К настоящему времени сделаны сотни определений количественного возраста разновысотных морских террас Шпицбергена. Для определения времени их формирования применяли радиоуглеродный (^{14}C), уран-ториевый ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) анализы, а также аминокислотное датирование раковин моллюсков, термolumинесцентное (ТЛ) и оптически стимулированное люминесцентное (ОСЛ) датирование песков, алевритов и т. п., как отложений, слагающих тело морских террас [1–3]. Относительно надежные количественные данные, как правило, обеспечиваются параллельным применением нескольких методов геохронометрии. Однако нередко отмечаются расхождения между количественными данными, полученными разными методами геохронометрии, как например, в случае ^{14}C - и $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования одних и тех же раковин моллюсков с архипелага Шпицберген [2].

Особенный интерес вызывает возраст высоких террас архипелага Шпицберген, к которым приурочено наименьшее количество датировок. Высокие морские террасы, распространенные на архипелаге Шпицберген, достигают высоты 110 м. Более верхние уровни имеют, по-видимому, структурно-денудационный или денудационный генезис [4], поскольку их морское происхождение не подтверждено фаунистическими и геохронологическими данными.

Уже имеющиеся, весьма немногочисленные датировки указывают на «тонкую» границу между неоплейстоценовыми и голоценовыми осадками в высотном диапазоне 60–110 м. К примеру, на Земле Короля Карла, в восточной части архипелага, норвежским исследователем О. Сальвигсеном с уровня 100 м получены радиоуглеродные датировки по древесине 9850 ± 80 лет, по кости кита с уровня 96 м радиоуглеродный возраст составил $33\,600 \pm 970$ лет. Уровень 88 м по кости кита датирован 8740 ± 130 лет [5, с. 288]. Этим же автором на равнине Свартнаусфлюа (Северо-Восточная Земля) с высоты 70 м по раковинам *Mya truncata* и *Hiatella arctica* получена радиоуглеродная датировка 9630 ± 120 лет [6, с. 222]. Из этого же района, по этим же раковинам (*Hiatella arctica*), но с уровня 80 м, получена радиоуглеродная датировка $24\,600 \pm 500$, а калиброванный возраст составил $29\,500 \pm 580$ лет [7, с. 131].

Основная цель настоящего исследования состояла в определении $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраста отложений высоких морских террас, сопоставлении его с датировками, ранее полученными другими методами геохронометрии, и в уточнении ранее приведенных палеогеографических реконструкций береговых линий архипелага Шпицберген.

Объектами $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования были выбраны раковины моллюсков из четвертичных отложений двух самых крупных островов архипелага Шпицберген — острова Западный Шпицберген и Северо-Восточная Земля (рисунок, табл. 1).



Места отбора проб на $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирование: 1 — оз. Линне (обр. S-51-1); 2 — пос. Пирамида, район бухты Петунья (обр. Ок-124-1); 3 — пролив Хинлопен (обр. S-17); 4 — Мерчисон-фиорд (обр. S-5-1)

Таблица 1. Место отбора и тип раковин, выбранных для $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования

№ образца (полевой)	Место отбора, координаты	Абс. высота террасы, м	Тип раковин, сохранность	Условия отбора	Лаб. №
S-51-1	о. Западный Шпицберген, оз. Линне, 78°2'845" с. ш., 13°5'832" в. д.	85	<i>Hiatella arctica</i> , <i>Mya truncata</i> , плохая сохранность	С глубины 0,4 м от поверхности	611
Ок-124-1	о. Западный Шпицберген, район бухты Петунья, 78°39'31" с. ш., 16°17'38" в. д.	67–70	<i>Macoma calcarea</i> , тонкостенные створки	Поверхность террасы	813
S-17	о. Западный Шпицберген, пролив Хинлопен 79°47'104" с. ш., 17°51'216" в. д.	100	<i>Mya truncata</i> , хорошая сохранность	Поверхность террасы	602, 618
S-5-1	Северо-Восточная Земля, Мерчисон-фиорд, 80°2'12,065" с. ш., 18°49'45,885" в. д.	80	<i>Hiatella arctica</i> , хорошая сохранность	Поверхность террасы	463

Краткое описание мест отбора и полученные ранее хронометрические данные

Озеро Линне. На восточном побережье озера Линне исследован останец морской террасы уровня 85–87 м. Параметры площадки останца составляют 80×35 м. С поверхности площадка и уступ террасы покрыты гравийно-галечным материалом с включением валунов диаметром до 0,5 м, частично задернованы. Терраса обработана поздневалдайским оледенением, что подтверждается наличием чехла тилла в кровле разреза. Ниже кровли терраса сложена песчано-гравийными отложениями, в которых обнаружено большое количество раковин моллюсков (в основном *Mya truncata* и *Hiatella arctica*). Ранее были получены две радиоуглеродные датировки фрагментов раковин этих видов — $36\,100 \pm 800$ и $35\,900 \pm 500$ лет [3, с. 23]. Кроме того, возраст песчано-гравийных отложений этой террасы определен методом оптико-стимулированной люминесценции (ОСЛ). ОСЛ-датировки существенно варьируют между собой — от 30 до 90 тыс. лет, наибольшее количество датировок сконцентрировано в диапазоне 40–60 тыс. лет [3]. Объектами $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования были фрагменты раковин *Mya truncata* (L.) и *Hiatella arctica* (L.) плохой сохранности, отобранные из копуша на глубине 0,4 м от поверхности.

Район бухты Петунья. Образец Ок-124-1 представляет собой две тонкостенные створки раковины *Mascoma calcarea* (Gmelin), отобранные со склона морской террасы уровня 67–70 м. Склон покрыт осыпями, состоящими из галечно-гравийного материала. Площадка террасы шириной примерно 100 м вытянута вдоль долины ледника Бертель. Поверхность террасы полностью задернована. Под слоем дерна — плохо окатанная галька. Точка отбора фауны находится в 400 м к С-З от пос. Пирамида. В 0,5 км к Ю-З от места отбора образца Ок-124-1 датированы раковины *Mya truncata* (L.) с уровня 46 м. Получен радиоуглеродный возраст 9580 ± 150 (ЛУ-7487) и соответственно календарный — $10\,910 \pm 210$ лет, рассчитанный с использованием калибровочной кривой IntCal13 [8]. Ранее, в этом же районе, в северной части бухты Петунья, с уровня 57 м по такому же материалу, нами получена радиоуглеродная датировка 8830 ± 110 лет (обр. ЛУ-7193). Календарный возраст согласно той же калибровочной кривой [8] составил 9900 ± 170 лет.

Западное побережье пролива Хинлопен. В ходе полевых работ ПМГРЭ в 2005 г. внимание было акцентировано на изучении геологического строения и четвертичных осадков района равнин Оленидслетта и разделенных ледником Балдербреен Профильстранда и Базислетта.

На равнине Оленидслетта с площадки морской террасы уровня 100 м были отобраны образцы раковины *Mya truncata* (L.) для ^{14}C и $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования. Раковины хорошей сохранности, толстостенные. Их радиоуглеродный возраст составил 7260 ± 60 лет, календарный по калибровочной кривой [8] — 8080 ± 60 лет (образец S-17, ЛУ-5718).

Кроме того, для образца раковин *Mya truncata* (L.), отобранного с площадки морской террасы уровня 80 м равнины Профильстранда, получена ^{14}C датировка $10\,510 \pm 270$ лет, календарный возраст согласно калибровке [8] — $12\,300 \pm 370$ лет (образец S-37, ЛУ-5717).

Мерчисон-фиорд. В районе Мерчисон-фиорда обнаружены морские террасы следующих уровней: 4–5, 10–12, 15, 20, 22–25, 30–35, 40–42, 50 и 80–82 м (верхний морской уровень).

Морские террасы — преимущественно абразионные. Цоколем террас служат рифейские песчаники и кварциты. Аккумулятивный чехол маломощный, обычно не превышает 2,5 м. Исключение — аккумулятивные тела террас, прослеженные фрагментарно на северном побережье, где мощность осадков достигает 18,5 м.

В 2011 г. опубликованы четыре радиоуглеродные датировки из района Мерчисон-фиорда по образцам, взятым на северном побережье фиорда из отложений морских террас с высотами 12, 25, 32 и 80–82 м [7, с. 131]. В качестве датируемого материала использовались раковины *Mya truncata* (L.) и *Hiatella arctica* (L.). Террасы высотой 32, 25 и 12 м формировались последовательно в узком временном интервале от 10370 до 9300 лет назад. Это позволило предположить, что скорости вздымания побережья Мерчисон-фиорда в начале голоцена были достаточно большие [7, с. 132]. Однако из этого ряда выпадает наиболее высокая терраса высотой 80 м, для которой получен радиоуглеродный возраст 8520 ± 180 , календарный — 9550 ± 240 тыс. лет (образец S-5-1, ЛУ-6197) [7, с. 131]. Для разрешения возникшего противоречия раковины этого же образца были датированы $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -методом.

$^{230}\text{Th}/\text{U}$ -метод датирования раковин моллюсков. Распространенность ископаемых раковин моллюсков в четвертичных осадочных отложениях отражена их многочисленными датировками, полученными разными методами определения возраста. Однако до сих пор нет полной уверенности в достоверности получаемых результатов, в том числе и с помощью $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -метода.

Основные теоретические положения этого метода формулируются следующим образом: 1) в момент своего формирования отложения включают только уран, из которого со временем в результате радиоактивного распада накапливается дочерний изотоп ^{230}Th ; 2) датируемые отложения в постседиментационное время представляют собой закрытую радиометрическую систему относительно изотопов урана и тория.

Одним из важнейших практических аспектов $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования раковин является степень реализации второй предпосылки метода. По разным оценкам, состояние открытой системы после своего захоронения раковины могут сохранять до 10 тыс. лет и более [9, 10]. Считается, что в постседиментационное время раковины моллюсков могут быть подвержены вторичному урановому обогащению [11]. Кроме того, может происходить загрязнение образцов посторонним торием, вероятно связанное с внедрением в раковины постороннего ^{230}Th в различных соотношениях с ^{232}Th в составе минерального детрита после их захоронения. Для максимального уменьшения влияния изотопного загрязнения на $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст ископаемых раковин предложено анализировать только их внутренние слои, как наиболее защищенные от внешнего воздействия грунтовых вод [10]. Кроме того, для карбонатных формаций, в том числе раковин моллюсков, иногда используется изохронный метод коррекции изотопных отношений, основанный на анализе одновозрастных образцов раковин [12].

Для проверки $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -метода требуется детальная информация о распределении изотопов урана и тория в раковинах моллюсков. Предполагается, что сопоставление активностей радионуклидов и их соотношений во внутренних и внешних слоях раковин позволяет оценить степень достоверности получаемых возрастных данных. Поэтому мы провели радиометрическое определение изотопов урана

и тория во внешних и внутренних фракциях образцов раковин с применением радиохимической методики [13, 14], включающей следующие этапы:

- процедура разделения внешней и внутренней фракций посредством их последовательного растворения в азотной кислоте;
- выделение изотопов U и Th из исследуемых фракций и их очистка от макро- и микропримесей, мешающих альфа-излучателей с использованием метода анионообменной хроматографии;
- электроосаждение изотопов U и Th на платиновых дисках;
- альфа-спектрометрическое определение изотопов ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th на α -спектрометре ALFA-DUO (ORTEC, США).

Согласно уравнению Кауфмана и Брокера из значений отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и их ошибок производился расчет $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраста и его доверительного интервала [13, с. 95].

Результаты $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования раковин моллюсков морских террас архипелага Шпицберген. В табл. 2 представлены экспериментальные данные о содержании изотопов U и Th во внешних и внутренних фракциях образцов раковин и их $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст.

Результаты датирования раковин моллюсков рассмотрены с позиции факторов, позволяющих так или иначе контролировать соблюдение основных положений уран-ториевого метода. К таким характеристикам относится наличие или отсутствие детритного загрязнения (^{232}Th , $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$), вторичного уранового обогащения (^{238}U , ^{234}U , $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) во внутренних и внешних слоях раковин.

Таблица 2. Результаты радиохимического определения изотопов U и Th и $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст внешних (b) и внутренних (a) фракций раковин моллюсков архипелага Шпицберген

№ обр.	лаб. № ЛУУ-	% обр.	^{238}U	^{234}U	^{230}Th	^{232}Th	$\frac{^{230}\text{Th}}{^{234}\text{U}}$	$\frac{^{234}\text{U}}{^{238}\text{U}}$	$^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст, тыс. лет
S-51-1	611a	42	1,5581± ±0,0351	1,9737± ±0,0413	0,4228± ±0,0141	0,0198± ±0,0035	0,2142± ±0,0084	1,2667± ±0,0317	25,9±1,2
	611b	58	1,2698± ±0,0276	1,6386± ±0,0325	0,3487± ±0,0147	0,0223± ±0,0047	0,2128± ±0,0099	1,2905± ±0,0313	25,7±1,4
Ок-124-1	813a	45,9	2,9041± ±0,0724	4,7776± ±0,1081	0,3949± ±0,119	0,0102± ±0,0019	0,0826± ±0,0031	1,6451± ±0,0348	9,3±0,4
	813b	54,1	4,3243± ±0,1135	7,0875± ±0,1716	0,6385± ±0,0201	0,0093± ±0,0034	0,0901± ±0,0036	1,6390± ±0,0337	10,2±0,4
S-17	602a	37,1	0,8222± ±0,0309	1,0650± ±0,0358	0,1560± ±0,0063	0,0121± ±0,0016	0,1464± ±0,0077	1,2953± ±0,0611	17,1±1,0
	602b	62,9	0,8946± ±0,0404	1,1759± ±0,0477	0,1633± ±0,0090	0,0399± ±0,0052	0,1389± ±0,0095	1,3144± ±0,0704	16,1±1,2
	618a	38,3	1,1812± ±0,0416	1,4374± ±0,0471	0,1984± ±0,0075	0,0237± ±0,0028	0,1380± ±0,0069	1,2169± ±0,0510	16,0±0,9
	618b	61,7	1,5549± ±0,1292	1,8652± ±0,1476	0,1807± ±0,0078	0,0194± ±0,0027	0,0969± ±0,0087	1,1996± ±0,1068	11±1
S-5-1	463a	45	0,4283± ±0,0156	0,4918± ±0,0169	0,0542± ±0,0027	0,0126± ±0,0016	0,1102± ±0,0067	1,1481± ±0,0509	12,6±0,9

Образец № S-51-1 представлял собой обломки раковин *Hiatella arctica* и *Mya truncata* плохой сохранности и небольшой массы. Поэтому для $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования была взята смесь раковин этих видов. Во внутренней (а) и внешней (b) фракциях этого образца обнаружено небольшое количество ^{232}Th , однако значения отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ достаточно велики от 15 до 20 и поэтому могут свидетельствовать о незначительности детритного загрязнения [15]. Небольшое превышение содержания урана во внутренних слоях относительно внешних не сказывается на $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возрасте, который одинаков для обеих фракций. Это, вероятно, говорит о незначительности привнесения или выщелачивания урана в постседиментационное время по отношению к поверхностным слоям, а значит и ко всей раковине. Значения отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в обеих фракциях раковин превышают его среднюю величину 1.15. в океанической воде. Данное обстоятельство может быть следствием поступления урана в раковины из грунтовых вод (с более высоким значением $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$). Скорее всего, это происходит в течение короткого временного отрезка в начальной фазе отложения раковин. Именно в таком случае отличие между отношениями активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и соответственно $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возрастом обеих фракций погребенной в течение достаточно длительно-го времени раковины будет фактически отсутствовать, что и наблюдается в нашем случае. Все это позволяет предположить, что $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки $25,9 \pm 1,2$ (ЛУУ-611a) и $25,7 \pm 1,4$ тыс. лет (ЛУУ-611b) близки к достоверной оценке возраста, хотя не исключается его некоторое омоложение. На это могут указывать ранее опубликованные более древние радиоуглеродные датировки раковин тех же видов из отложений этой террасы [3].

Образец № Ок-124-1 (*Macoma calcaria*) путем последовательного растворения был разделен на внутреннюю (№ 813a) и внешнюю (№ 813b) части. Содержание урана выше во внешней фракции. Кроме того, отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в обеих фракциях существенно выше среднего значения этой величины в океанической воде. Таким образом, несмотря на отсутствие загрязнения образцов ^{232}Th (содержание в следовых количествах), в постседиментационное время, скорее всего, происходила дополнительная поставка урана в раковины из грунтовых вод. Поэтому $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст внешней и внутренней фракций, вероятно, омоложен. Степень омоложения определить затруднительно, поскольку она зависит от времени и продолжительности контакта раковин и грунтовых вод. Интересно, что $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировка образца, особенно его внешней фракции — $10,2 \pm 0,4$ тыс. лет (ЛУУ-813b) близка календарным ^{14}C возрастам 10910 ± 210 (ЛУ-7487) и 9900 ± 170 лет (ЛУ-7193), полученным по раковинам *Mya truncata* с более низких террас высотой 46 и 57 м из этого же района. При этом ^{14}C -датировка с 46 м уровня более надежна, поскольку отбор раковин производился из разреза. Это обстоятельство в совокупности с очевидным омоложением рассмотренной здесь $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки, вероятно, подтверждает, что терраса высотой 67–70 м имеет возраст более 10–11 тыс. лет.

Сбор раковин образца № S-17 (*Mya truncata*) был разделен на две части (№ 602 и 618), для которых были выполнены радиохимические анализы внутренних и внешних фракций. Концентрация урана во внешних фракциях образцов больше, чем во внутренних, а $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст, наоборот, меньше. В образце № 618 это проявляется особенно отчетливо, его внешние слои существенно омоложены (11 ± 1 тыс. лет, ЛУУ-618b) в сравнении с внутренней фракцией ($16 \pm 0,9$ тыс.

лет, ЛУУ-618а). Тогда как для образца № 602 эти различия фактически укладываются в погрешность. Данный факт скорее всего свидетельствует о локальной постседиментационной поставке урана, затрагивающей в большей степени внешние слои отдельных раковин. Значения отношений активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ для внутренних и внешних слоев обоих образцов в пределах погрешностей близки средней величине для океанической воды. Во всех фракциях обнаружены небольшие количества ^{232}Th , наименьшее содержание этого изотопа зафиксировано для внутренней фракции образца № 602. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст обеих фракций образца № 602 и внутренней фракции образца № 618 близок в пределах погрешности и не зависит от величины отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$. Следовательно, можно предположить, что детритное изотопное загрязнение ничтожно и поэтому не искажает возраст. Таким образом, все вышеизложенное позволяет предположить, что условия закрытой радиометрической системы могли быть нарушены только для отдельных раковин, причем скорее всего для их внешних слоев. По всей вероятности предпосылки $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -метода в большей степени могли быть выполнены для внутренней фракции образца № 602. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст $17,1 \pm 1,0$ тыс. лет (ЛУУ-602а) близок к реальной оценке возраста образца № S-17, но может быть и несколько больше. В таком случае ^{14}C -датировку этого же образца 7260 ± 60 лет (календарный возраст 8080 ± 60 лет) (ЛУ-5718) следует признать существенно омоложенной. Тогда как ^{14}C -датировка образца раковин *Mya truncata* (L.), отобранного с площадки морской террасы уровня 80 м равнины Профильстранда, — 10510 ± 270 лет, календарный возраст 12300 ± 370 лет (образец S-37, ЛУ-5717) не противоречит $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возрасту 100 м террасы — $17,1 \pm 1,0$ тыс. лет.

Для образца № S-5-1 (*Hiatella arctica*) выполнен анализ только внутренней фракции. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст $12,6 \pm 0,9$ тыс. лет (ЛУУ-463а) несколько больше ^{14}C -датировки раковин (ЛУ-6197), полученной для этого же образца, — 9550 ± 240 калиброванных лет [7]. Отношение активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в образце фактически такое же, как и в океанической воде. В таком случае наличие следовых количеств ^{232}Th , вероятно, может свидетельствовать лишь о небольшом первичном ториевом загрязнении раковин. Действительно, $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст несколько больше радиоуглеродного. Однако ^{14}C -датировка этого образца скорее всего омоложена [7], поэтому удревание $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -данных, вероятно, значительно меньше или вообще ничтожное. С этих позиций $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст лучше согласуется с опубликованными значительно ранее ^{14}C -датировками по частично захороненным раковинам *Mya truncata* с уровня 82 м, отобранным из этого района, координаты отбора — $79^{\circ}56'$ с. ш., $18^{\circ}15'$ в. д. [16, с. 525]. Внутренние и промежуточные слои одного образца показали соответственно ^{14}C -возраст 11180 ± 190 и 11150 ± 110 лет, и более ранняя датировка по раковинам из этой же коллекции — 10670 ± 145 лет. Эти прямые ^{14}C -данные соответствуют 12400 – 13200 кал. лет [8], фактически не отличаясь от нашей $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст морской террасы из района Мерчисон-фиорда с высотой 80 м согласуется с хронологической последовательностью образования в этом же районе более низких террас 32, 25 и 12 м в интервале от 10370 до 9300 лет назад [7, с. 131].

Анализ изотопных данных для всех четырех образцов раковин моллюсков показал, что полученные $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки могут быть в разной степени омоложены. Вероятно, в большей степени это относится к образцу № Ок-124-1, тогда как для остальных образцов это омоложение скорее небольшое. Возраст двух образцов

№ S-5-1 и S-17 определялся также ^{14}C -методом. ^{14}C -датировки оказались значительно меньше уран-ториевых. Ранее уже предполагалось, что образцы, отобранные с дневной поверхности, могут быть загрязнены молодым углеродом и, как следствие, омоложены [7]. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки, полученные по этим же образцам, эффекту омоложения подвержены в существенно меньшей степени.

Заключение

Результаты исследований позволяют сделать некоторые предварительные выводы.

Морские террасы исследованных районов архипелага Шпицберген с высотами от 70 до 100 м образовались по данным $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования в позднелепестовое время.

С учетом погрешностей $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировок (ЛУУ-611а и ЛУУ-602а) можно предположить, что районы восточного побережья оз. Линне и западного побережья пролива Хинлопен были свободны от ледникового покрова в период примерно до 27 и с 16 тыс. лет назад.

Обнаружение на террасах высотой 67–70, 85 и 100 м комплекса малакофауны *Mya-Hiatella-Macoma* и его возраст, установленный $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -методом, подтверждают тот факт, что в изученных районах о. Западный Шпицберген в период 16–10 тыс. лет назад существовали морские условия.

В районе Мерчисон-фиорда на северном побережье дополнена хронология образования разновысотных террас. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст образца раковин с уровня 80 м — $12,6 \pm 0,9$ тыс. лет (ЛУУ-463а) находится во временном соответствии с калиброванными ^{14}C -датировками террас с более низких уровней 32, 25, 12 м в интервале от 10 370 до 9300 лет назад [7]. Эти совокупные хронологические данные свидетельствуют о больших скоростях подъема побережья Мерчисон-фиорда на рубеже конца позднего лепестовца и начала голоцена.

Необходимо также отметить, что $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст (ЛУУ-463а) террасы высотой 80 м на северном побережье Мерчисон-фиорда практически совпадает с калиброванной ^{14}C -датировкой образца раковин $12\,300 \pm 370$ кал. лет (образец S-37, ЛУ-5717) с такого же уровня в 80 м, зафиксированного в относительной близости на другом острове архипелага (о. Западный Шпицберген), на западном побережье пролива Хинлопен. Одновозрастность морских террас в этих районах, позволяет предыдущий вывод распространить на западное побережье пролива Хинлопен.

Литература

1. Troitsky L., Punning J.-M., Hutt G., Rajamae R. Pleistocene glaciation chronology of Spitsbergen // *Boreas*. 1979. Vol. 8. P. 401–407.
2. Salvigsen O., Nydal R. The Weichselian glaciation in Svalbard before 15,000 B.P. // Oslo, *Boreas*. 1981. Vol. 10. P. 433–446.
3. Mangerud J., Dokken T., Hebbeln D., Heggen B., Ingjolfsson O., Landvik J. Y., Mejdahl V., Svendsen J. I., Vorren T. O. Fluctuations of the Svalbard — Barents sea ice sheet during the last 150 000 years // *Quaternary Science Reviews*. 1998. Vol. 17. P. 11–42.
4. Семевский Д. В., Шкатов Е. П. Геоморфология Земли Норденшельда (Западный Шпицберген) // *Материалы по геологии Шпицбергена*. Л.: Изд-во НИИГА, 1965. С. 232–240.
5. Salvigsen O. Radiocarbon dated beaches in Kong Karls Land, Svalbard, and their consequences for the glacial history of the Barents sea area // Oslo, *Geogr. Ann.* 1981. 63 A (3–4). P. 283–291.

6. Salvigsen O. Holocene emergence and finds of pumice, walebones and driftwood at Svartknausflya, Nordauslandet // Oslo, Norsk Polarinst, Arbok. 1978. P.217–228.

7. Шарин В.В., Арсланов Х.А. Новые радиоуглеродные датировки морских террас Северо-Восточной Земли (архипелаг Шпицберген) // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер.7. Геология. География. 2011. Вып. 2. С. 129–134.

8. Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hafliðason H., Hajdas I., Hatt. C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A. G., Hughen K. A., Kaiser K. F., Kromer B., Manning S. W., Niu M., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Staff R. A., Turney C. S. M., van der Plicht, J. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP // Radiocarbon. 2013. Vol. 55, N 4. P.1869–1887.

9. Kaufman A., Broecker W.S., Ku T.-L., Thurber D. L. The status of U-series methods of molluscs dating // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1971. Vol. 35, N 11. P.1155–1183.

10. Арсланов Х.А., Тертычный Н.И., Герасимова С.А., Локишин Н.В. К вопросу о датировании морских раковин моллюсков по отношению $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ // Геохимия. 1976. № 10. С. 1724–1734.

11. Edwards R. L., Gallup C. D., Cheng H. Uranium-series dating of marine and lacustrine carbonates // Bourdon B., Henderson G. M., Lundstrom C. C., Turner S. P. Uranium-series geochemistry. Reviews in mineralogy and geochemistry, 52, Geochemical Society, Mineralogical Society of America. 2003. P.363–405.

12. Osmond J. K., May J. P., Tanner W. F. Age of the Cape Kennedy barrier-and-lagoon complex // J. Geophys. Res. 1970. Vol. 75. P.469–479.

13. Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю. Новая версия $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования верхне- и среднеплейстоценовых отложений // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер.7. Геология. География. 2010. Вып. 4. С. 94–107.

14. Dodonov A. E., Trifonov V. G., Ivanova T. P., Kuznetsov V. Yu., Maksimov F. E., Bachmanov D. M., Sadchikova T. A., Simakova A. N., Minini H., Al-Kafri A.-M., Ali O. Late Quaternary marine terraces in the Mediterranean coastal area of Syria: Geochronology and neotectonics // Quaternary International. 2008. Vol. 190. P.158–170.

15. Geyh M. A., Schleicher H. Absolute Age Determination. Physical and Chemical Dating Methods and Their Application. Springer, Heidelberg. 1990. 503 p.

16. Olsson I. U., El-Gamhal S., Goksu Y. Uppsala natural radiocarbon measurements IX // Radiocarbon. 1969. Vol. 11, N 2. P.515–544.

Для цитирования: Максимов Ф.Е., Шарин В.В., Кузнецов В.Ю., Окунев А.С., Григорьев В.А., Петров А.Ю. Уран-горюевое датирование высоких морских террас архипелага Шпицберген // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер.7. Геология. География. 2016. Вып. 2. С. 54–64. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.205

References

1. Troitsky L., Punning J.-M., Hutt G., Rajamae R. Pleistocene glaciation chronology of Spitsbergen. *Boreas*, 1979, vol. 8, pp. 401–407.

2. Salvigsen O., Nydal R. The Weichselian glaciation in Svalbard before 15,000 B. P. *Oslo, Boreas*. 1981, vol. 10, pp. 433–446.

3. Mangerud J., Dokken T., Hebbeln D., Heggen B., Ingjolfsson O., Landvik J. Y., Mejdahl V., Svendsen J. I., Vorren T. O. Fluctuations of the Svalbard — Barents sea ice sheet during the last 150 000 years. *Quaternary Science Reviews*, 1998, vol. 17, pp. 11–42.

4. Semevskij D. V., Shkatov E. P. Geomorfologiya Zemli Nordenshel'da (Zapadnyi Shpitsbergen) [The Geomorphology of the Nordenskiöld Land (Vestspitsbergen)]. *Materialy po geologii Shpitsbergena [Materials on the Spitsbergen Archipelago Geology]*. Leningrad, NIIGA Publ., 1965, pp. 232–240. (in Russian).

5. Salvigsen O. Radiocarbon dated beaches in Kong Karls Land, Svalbard, and their consequences for the glacial history of the Barents sea area. *Oslo, Geogr. Ann.*, 1981, 63 A (3–4), pp. 283–291.

6. Salvigsen O. Holocene emergence and finds of pumice, walebones and driftwood at Svartknausflya, Nordauslandet. *Oslo, Norsk Polarinst, Arbok*, 1978, pp. 217–228.

7. Sharin V. V., Arslanov Kh. A. Novye radiouglеродные датировки морских террас Северо-Восточной Земли (архипелаг Шпицберген) [New radiocarbon datings from marine terraces of nordauslandet area (Spitsbergen archipelago)]. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2011, issue 2, pp. 129–134 (in Russian).

8. Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hafliðason H., Hajdas I., Hatt. C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A. G., Hughen K. A., Kaiser K. F., Kromer B., Manning S. W., Niu M., Reimer R. W., Richards D. A., Scott E. M., Southon J. R., Staff R. A., Turney C. S. M., van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, no. 4, pp. 1869–1887.

9. Kaufman A., Broecker W.S., Ku T.-L., Thurber D.L. The status of U-series methods of mollusc dating. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1971, vol. 35, no. 11, pp. 1155–1183.
10. Arslanov Kh. A., Tertychny N.I., Gerasimova S. A., Lokshin N. V. K voprosu o datirovanii morskikh rakovin molliuskov po otnosheniiu $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ [On the marine mollusc shell dating by the ratio $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$]. *Geokhimiia* [Geochemistry], 1976, no. 10, pp. 1724–1734 (in Russian).
11. Edwards R. L., Gallup C. D., Cheng H. Uranium-series dating of marine and lacustrine carbonates. *Bourdon B., Henderson G. M., Lundstrom C. C., Turner S. P. Uranium-series geochemistry. Reviews in mineralogy and geochemistry*, 52, Geochemical Society, Mineralogical Society of America, 2003, pp. 363–405.
12. Osmond J. K., May J. P., Tanner W. F. Age of the Cape Kennedy barrier-and-lagoon complex. *J. Geophys. Res.*, 1970, vol. 75, pp. 469–479.
13. Maksimov F. E., Kuznetsov V. Yu. Novaia versia $^{230}\text{Th}/\text{U}$ datirovaniia verkhne- i srednepocheistotsenovykh otlozhenii [New version of $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of the Upper and Middle Pleistocene buried organogenic sediments]. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2010, issue 4, pp. 94–107 (in Russian).
14. Dodonov A. E., Trifonov V. G., Ivanova T. P., Kuznetsov V. Yu., Maksimov F. E., Bachmanov D. M., Sadchikova T. A., Simakova A. N., Minini H., Al-Kafri A.-M., Ali O. Late Quaternary marine terraces in the Mediterranean coastal area of Syria: Geochronology and neotectonics. *Quaternary International*, 2008, vol. 190, pp. 158–170.
15. Geyh M. A., Schleicher H. *Absolute Age Determination. Physical and Chemical Dating Methods and Their Application*. Springer, Heidelberg, 1990. 503 p.
16. Olsson I. U., El-Gammal S., Goksu Y. Uppsala natural radiocarbon measurements IX. *Radiocarbon*, 1969, vol. 11, no. 2, pp. 515–544.

For citation: Maksimov F. E., Sharin V. V., Kuznetsov V. Yu., Okunev A. S., Grigoriev V. A., Petrov A. Yu. Uranium-thorium dating of high sea terraces of the Spitsbergen Archipelago. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2016, issue 2, pp. 54–64. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.205

Статья поступила в редакцию 25 марта 2016 г.

Контактная информация

Максимов Федор Евгеньевич — кандидат географических наук; maksimov-fedor@yandex.ru
Шарин Владимир Викторович — кандидат географических наук; sharin_v@mail.ru
Кузнецов Владислав Юрьевич — доктор геолого-минералогических наук; v_kuzya@mail.ru
Окунев Алексей Сергеевич — геолог I категории; geoalex26@gmail.com
Григорьев Василий Александрович — инженер-исследователь; v.grigoriev@spbu.ru
Петров Алексей Юрьевич — инженер-исследователь; petrovalexey1987@gmail.com

Maksimov Fedor E. — PhD; maksimov-fedor@yandex.ru
Sharin Vladimir V. — PhD; sharin_v@mail.ru
Kuznetsov Vladislav Yu. — Doctor of Geosciences; v_kuzya@mail.ru
Okunev Alexey S. — geologist; geoalex26@gmail.com
Grigoriev Vasilii A. — Engineer-researcher; v.grigoriev@spbu.ru
Petrov Aleksey Yu. — Engineer-researcher; petrovalexey1987@gmail.com